

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

TENDÊNCIAS DE ALTERAÇÕES NA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ, BRASIL

This is the author's manuscript

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/153325> since

Publisher:

Board of ABClima (2012-2014) SBCG XI - V SIMPEC - CoC UGI

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)



TENDÊNCIAS DE ALTERAÇÕES NA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ, BRASIL

LEANDRO ZANDONADI¹
FIORELLA ACQUAOTTA²
SIMONA FRATIANNI³
JOÃO AFONSO ZAVATTINI⁴

Resumo. Esta pesquisa buscou abordar as alterações ocorridas nas chuvas no período de 1986 a 2011 na bacia hidrográfica do rio Paraná, Brasil, identificando as tendências destas alterações através de 11 índices climáticos criados pelo ETCCDMI, calculados com o software RClimDex e aplicados para 32 estações meteorológicas do INMET. As tendências das chuvas foram calculadas através do método da regressão linear. Detectou-se aumento no número de dias úmidos em boa parte da bacia, provocados principalmente por chuvas extremas, e também que houveram mais ocorrências de chuvas mensais registradas em dias consecutivos, principalmente de 5 dias, além de outras constatações. Os resultados obtidos nesta pesquisa podem ser amplamente utilizados para melhorar o entendimento nas transformações do clima do Brasil e os diversos problemas associados.

Palavras-chave: chuvas, tendências, índices climáticos, bacia hidrográfica do Rio Paraná, Brasil.

Abstract. This research aimed at addressing aspects related to alterations occurred in the rainfall in the period from 1986 to 2011, in the Paraná River Hydrographical Basin, Brazil, identifying the trends of these alterations by means of 11 climate indices created by the ETCCDMI, calculated with RClimdex software and applied to 32 meteorological stations of the INMET. Trends in rainfall were also calculated using the linear regression method. An increase in the number of wet days was detected in much of the basin, caused mainly by extreme rainfall, and also that there were more occurrences of monthly rainfall recorded on consecutive days, especially 5 days, among other findings. The results obtained in this research can be widely used to improve the understanding of climate change in Brazil and the various problems associated with it.

Keywords: rains, trends, climate indices, Paraná River hydrographical basin, Brazil.

¹ Professor Colaborador do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Avenida Colombo, número 5790, Bloco J-12, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino - UNITO, via Valperga Caluso 35 – 10125, Torino, Italia.

³ Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino - UNITO, via Valperga Caluso 35 – 10125, Torino, Italia. Centro di Ricerca sui Rischi Naturali in Ambiente Montano e Collinare (NatRisk), via Leonardo da Vinci 4 - 10095 Grugliasco, Italia.

⁴ Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Avenida 24 A, número 1515, CEP: 13506-900, Rio Claro, São Paulo, Brasil.



1. Introdução

Diversos trabalhos e investigações têm sido realizados visando identificar quais elementos do clima poderiam vir a provocar maiores impactos naturais e sociais, além de compreender como esses elementos estão causando tais impactos e quais são as suas intensidades e frequências de ocorrências. Dentre muitos trabalhos, podemos citar como exemplo os realizados por Kalkstein (1993), Kunkel (1999), Meehl *et al.* (2000), Easterling *et al.* (2000), Walther *et al.* (2002), dentre outros tantos. O que se pode notar é que em grande parte das pesquisas realizadas os cientistas têm empenhado muita atenção nas alterações extremas de dois principais elementos do clima, a temperatura e a chuva. Assim, em diversas regiões do planeta já foram comprovadas alterações reais nos valores destes elementos, como se verifica nas pesquisas de Aguilar *et al.* (2005), Vincent *et al.* (2005), Alexander *et al.* (2006), Vincent e Mekis (2006), Klein Tank *et al.* (2002, 2003 e 2006), Moberg *et al.* (2006), Besselaar *et al.* (2012), Terzago *et al.* (2012), Mueller e Seneviratne (2012), Sen Roy e Rouault (2013), Wang *et al.* (2013), e muitos outros trabalhos.

Deste modo, produzir uma pesquisa que seja capaz de contribuir para a compreensão da dinâmica das chuvas, bem como suas alterações, pode ser extremamente positivo no sentido de somar os resultados obtidos com os de outras tantas regiões já estudadas em todo o planeta. Além disso, poderá dar suporte para que sejam realizados melhores planejamentos para o Brasil, visando minimizar os impactos e consequências negativas que possíveis mudanças extremas nos valores de chuvas possam trazer para a sociedade, como os casos de enchentes, inundações, deslizamentos de encostas em áreas urbanas, e os danos causados na agricultura, esses últimos, inclusive, gerando impactos diretos na produção de alimentos, problemas tais muito comuns no Brasil.

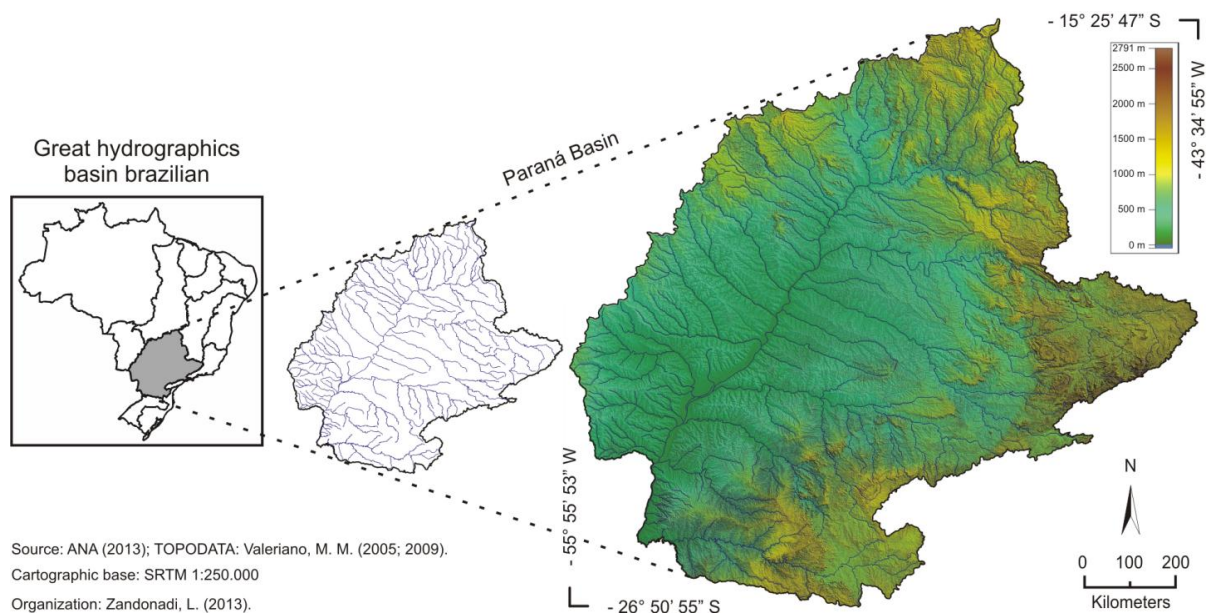
Portanto, foram concentrados esforços na interpretação das chuvas caídas na bacia hidrográfica do rio Paraná, que em termos socioeconômicos é considerada a mais importante das grandes bacias hidrográficas brasileiras. É uma bacia muito dependente das chuvas e qualquer alteração na sua dinâmica pluvial pode gerar impactos diretos em diversos setores socioeconômicos. Deste modo, o principal objetivo desta pesquisa é apresentar as alterações que vêm ocorrendo na dinâmica pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Paraná, visando contribuir para melhores planejamentos socioeconômicos da área. Espera-se também colaborar com os resultados de pesquisas anteriores, seja abrangendo toda a área da bacia, ou áreas menores dentro de seu território, e até mesmo de áreas vizinhas ou contínuas.



2. Discussão

2.1. A bacia hidrográfica do rio Paraná

A bacia hidrográfica do rio Paraná localiza-se no Brasil, entre as coordenadas geográficas 15° 25' 47" e 26° 50' 55" de latitude Sul e 43° 34' 55" e 55° 55' 53" de longitude Oeste (Figura 01). É a segunda maior região hidrográfica brasileira e sua área (879.860 Km²) ocupa 10% do território nacional, distribuída entre os Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. Faz divisa com outras cinco grandes regiões hidrográficas brasileiras: ao Norte, com a bacia do Tocantins-Araguaia; a Noroeste, com a bacia do Paraguai; a Nordeste, com a bacia do São Francisco; a Sudeste, com a bacia do Atlântico Leste; e ao Sul, com a bacia do Uruguai. (ANEEL, 2013 e ANA, 2013).



Source: ANA (2013); TOPODATA: Valeriano, M. M. (2005; 2009).
Cartographic base: SRTM 1:250.000
Organization: Zandonadi, L. (2013).

Figura 01 – Divisão das grandes regiões hidrográficas do território brasileiro, com destaque para a bacia hidrográfica do rio Paraná, sua rede de drenagem principal e altitudes do relevo.

2.2. Dados utilizados e controle de qualidade

Após a aplicação de um intenso controle de qualidade nos dados iniciais de 44 estações pluviométricas, percebeu-se a existência muitas falhas que forçou a seleção de uma série mais curta em relação àquela pretendida para este tipo de estudo. Por um lado, esta série histórica mais curta possibilitou significativa melhoria na qualidade dos dados, mas, por outro, inviabilizou o uso de estações pluviométricas da região Oeste da bacia, que historicamente apresenta mais problemas de escassez de dados em função da menor densidade de estações de coleta e também por ter uma malha urbana menos densa. Mas,



mesmo sem a cobertura daquela região, decidiu-se prosseguir com a pesquisa, entendendo que é extremamente difícil a realização deste tipo de análise no Brasil, pois a técnica utilizada preza pela qualidade dos dados utilizados e também pelos pouquíssimos estudos com tal finalidade no país, podendo ser esta uma contribuição significativa.

Assim, o número de estações pluviométricas escolhidas para as análises foram 32, conforme demonstra a tabela 1, e a série histórica selecionada foi 1986 a 2011.

Estações	Código (OMM)	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
Araxá	83579	19° 34' 00"	46° 56' 00"	1023.6
Avaré	83773	23° 06' 00"	48° 55' 00"	813.0
Brasília	83377	15° 47' 24"	47° 55' 22"	1159.5
Campo Mourão	83783	24° 03' 00"	52° 22' 00"	616.4
Campos do Jordão	83714	22° 44' 00"	45° 35' 00"	1642.0
Capinópolis	83514	18° 41' 00"	49° 34' 00"	620.6
Castro	83813	24° 47' 00"	50° 00' 00"	1008.8
Catalão	83526	18° 10' 13"	47° 57' 27"	840.5
Catanduva	83676	21° 08' 00"	48° 58' 00"	570.0
Curitiba	83842	25° 43' 00"	49° 26' 00"	923.5
Formosa	83379	15° 32' 56"	47° 20' 17"	935.2
Franca	83630	20° 33' 00"	47° 26' 00"	1026.2
Goiânia	83423	16° 40' 25"	49° 15' 50"	741.5
Guarulhos	83075	23° 26' 00"	46° 28' 00"	735.0
Ipameri	83522	17° 43' 27"	48° 10' 16"	773.0
Irati	83836	25° 28' 00"	50° 38' 00"	837.0
Ituiutaba	83521	18° 58' 00"	49° 21' 00"	560.0
Jataí	83464	17° 55' 23"	51° 43' 00"	662.9
Juiz de Fora	83692	21° 46' 02"	43° 18' 49"	940.0
Lavras	83687	21° 14' 00"	45° 00' 00"	918.8
Londrina	83766	23° 19' 00"	51° 09' 00"	566.0
Maringá	83767	23° 04' 00"	51° 58' 00"	542.0
Paracatú	83479	17° 13' 00"	46° 52' 00"	712.0
Pirenópolis	83376	15° 51' 16"	48° 57' 57"	740.0
Presidente Prudente	83716	22° 07' 00"	51° 23' 00"	435.6
São Carlos	83726	22° 01' 00"	47° 54' 00"	856.0
São Lourenço	83736	22° 06' 00"	45° 01' 00"	953.2
São Paulo (Mirante de Santana)	83781	23° 30' 00"	46° 37' 00"	792.1
São Simão	83669	21° 29' 00"	47° 33' 00"	617.4
Uberaba	83577	19° 46' 00"	47° 56' 00"	737.0
Unai	83428	16° 22' 00"	46° 53' 00"	460.0
Votuporanga	83623	20° 25' 00"	49° 59' 00"	502.5

Tabela 01 – Lista com as 32 estações pluviométricas utilizadas na análise.

Foi realizado ainda um controle de qualidade para saber se as 32 estações escolhidas apresentavam ao menos 80% dos dados diários com qualidade (Klein Tank *et al.*, 2002) e suficientes para um estudo ao longo de um ano. E para cada série considerada completa aplicou-se também um controle de qualidade para identificar os eventuais erros de transcrição dos dados e os valores anormais (*outliers*). Nesta ocasião foi verificado se haviam valores de chuvas negativos e também se os valores eram excessivamente elevados, podendo ser considerados como erros de coleta e anotação pelo observador. Tais valores e *outliers* são identificados em tabelas pelo software RClimDex (Zhang *et al.*, 2004) para que se possa analisar os dados e corrigi-los posteriormente, se necessário.



2.3. Aplicação dos índices climáticos

Uma vez selecionadas as estações e o período da análise, foram selecionados os índices necessários para a verificação do comportamento pluviométrico da área de estudo. São 11 índices criados e organizados pelo ETCCDMI, conforme mostra a tabela 02, e ambos são calculados através do software RClimDex. Dentre todos estes 11 índices, o único que permite inserir manualmente um valor a ser verificado é o Rnn, e aqui foi usado o valor 1 mm como referência, já que foram desconsiderados valores pluviométricos abaixo de 1 mm.

ID	NOME INDICADOR	DEFINIÇÕES	UNID.
RX1day	Max. 1 dia de quantidade de chuva	Máximo de 1 dia de precipitação mensal	mm
RX5day	Max. 5 dias de quantidade de chuva	Máximo de 5 dias consecutivos de precipitação mensal	mm
SDII	Índice de intensidade diária simples	Precipitação total anual, dividido pelo número de dias chuvosos (definido com precipitação $\geq 1.0\text{mm}$) no ano	mm/day
R10mm	Número de dias de chuva intensa	Contagem de dias anual em que a precipitação é $\geq 10\text{mm}$	days
R20mm	Número de dias de chuva muito intensa	Contagem de dias anual em que a precipitação é $\geq 20\text{mm}$	days
Rnn	Número de dias superiores a <i>nn</i> mm	Contagem de dias anual em que a precipitação é $\geq 1.0\text{ mm}$	days
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com chuvas diárias $< 1\text{mm}$	days
CWD	Dias chuvosos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com chuvas diárias $\geq 1\text{mm}$	days
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação total anual quando as chuvas diárias forem > 95 percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação total anual quando as chuvas diárias forem > 99 percentil	mm
PRCPTOT	Total anual de dias chuvosos	Precipitação total anual em dias úmidos (chuvas diárias $\geq 1\text{mm}$)	mm

Tabela 02 – Identificação e definições dos índices de chuvas utilizados na pesquisa.

Para cada índice pluviométrico foram calculadas também as tendências através do método da regressão linear. A significância estatística das tendências calculadas foi verificada utilizando-se o coeficiente de determinação R^2 , de acordo com Aguilar (2003). Todos os valores positivos e negativos, respectivamente indicativos do acréscimo ou decréscimo das linhas de tendências, foram organizados numa planilha e classificados cromaticamente para facilitar as observações e análises. Seguiu-se praticamente este mesmo critério de classificação cromática para representação espacial dos resultados através dos mapas, apontando quais áreas apresentaram alterações pluviométricas mais significativas. Na representação espacial os valores de tendências positivos e negativos indicados para cada um dos 11 índices foram divididos em 7 intervalos de classes.



3. Resultados

Ao verificarmos a figura 20 podemos comprovar que houve aumento no número de dias úmidos em boa parte da bacia hidrográfica do rio Paraná para o período analisado. Esse aumento é indicado pelo índice SDII e apenas 5 das 32 estações analisadas apresentaram tendências negativas, ou seja, diminuição nas chuvas. Além disso, as maiores frequências de ocorrências de dias chuvosos estiveram associadas principalmente a chuvas mais intensas, situação comprovada pelo elevado número de estações pluviométricas com tendências positivas para os índices R1mm, R10mm, R20mm e R95mm. Enquanto que para o índice R1mm o número de estações com tendências negativas e positivas é praticamente equivalente (18 negativas, 12 positivas e 2 sem alterações), nos índices R10mm, R20mm e R95mm os números de estações com tendências positivas aumentam significativamente. A partir do índice R99mm o número de estações com tendências positivas tende a reduzir, porém, ainda permanece com número maior de estações com tendências positivas.

Stations	CDD	CWD	RX1day	RX5day	SDII	R1mm	R10mm	R20mm	R95p	R99p	PRCPTOT
Araxá	-0,61	0,08	0,21	0,06	0,09	0,00	0,12	0,18	8,52	2,20	8,86
Avaré	-0,09	-0,11	-0,14	-0,67	0,03	-0,32	0,00	0,01	-1,68	3,77	-1,97
Brasília	1,10	0,07	0,18	1,73	0,02	0,00	0,04	0,07	3,37	-0,70	1,59
Campo Mourão	-0,15	-0,06	-0,21	-0,29	0,05	-0,46	0,04	0,08	-0,75	-0,54	-1,98
Campos do Jordão	-0,02	0,04	0,14	1,17	0,09	0,57	0,63	0,44	10,37	0,64	19,14
Capinópolis	0,15	-0,02	-0,35	0,67	0,01	-0,05	0,18	0,05	0,74	1,04	1,02
Castro	-0,07	-0,07	1,06	0,23	0,05	0,29	0,29	0,28	1,61	0,81	10,28
Catalão	0,66	-0,08	-0,31	-0,66	0,06	0,07	0,26	0,20	2,75	1,29	6,78
Catanduva	0,13	-0,03	-1,03	-1,61	-0,04	-0,15	-0,32	-0,20	0,90	-3,02	-5,72
Curitiba	-0,22	-0,03	0,69	0,27	0,08	0,20	0,39	0,22	7,32	2,04	11,96
Formosa	0,86	-0,01	-0,18	-0,30	-0,03	-0,08	-0,26	-0,07	1,50	0,20	-3,51
Franca	-0,11	-0,05	-0,32	-0,40	0,03	0,39	0,18	0,22	2,18	-1,24	8,86
Goiania	0,59	-0,02	0,91	0,55	0,07	-0,18	0,11	0,04	3,00	4,39	5,38
Guarulhos	0,23	0,04	-0,01	0,02	0,01	-0,15	-0,18	0,02	3,67	2,31	-1,24
Ipameri	0,61	0,06	-0,07	0,02	0,02	-0,12	0,05	0,20	-1,47	0,14	1,09
Iratí	-0,19	0,01	-1,10	0,52	0,02	0,18	0,14	0,22	-0,27	-0,12	4,73
Ituiutaba	-1,10	0,10	-0,34	-1,01	-0,02	0,45	0,11	-0,02	4,22	-0,09	5,26
Jataí	0,03	-0,09	0,19	0,81	0,02	-0,20	-0,15	-0,11	4,03	1,60	-1,77
Juiz de Fora	0,12	0,17	0,71	0,56	0,11	0,57	0,58	0,43	11,29	6,37	19,79
Lavras	-0,88	0,12	-0,48	-0,09	0,04	-0,18	-0,13	0,10	0,75	-2,10	0,66
Londrina	-0,94	0,15	1,54	2,57	0,03	0,50	0,18	0,19	5,04	3,90	12,45
Maringá	-0,23	-0,05	0,31	0,06	0,04	-0,11	0,05	0,08	-2,82	2,79	1,85
Paracatu	1,41	0,05	-0,37	0,63	0,09	-0,11	0,06	0,21	5,16	-0,68	5,16
Pirenópolis	0,41	-0,08	-0,15	-0,45	0,05	-0,13	-0,04	0,09	1,88	-0,30	2,41
Presidente Prudente	0,30	-0,09	-0,33	1,62	0,03	0,03	0,04	0,08	3,48	-1,99	3,47
São Carlos	-0,22	-0,11	0,08	-1,47	-0,01	-0,04	-0,13	-0,12	2,76	-0,10	-1,30
São Lourenço	0,42	0,01	0,40	1,83	-0,01	0,04	-0,05	0,08	-0,35	-1,34	-0,76
São Paulo (Mirante de Santana)	0,40	0,02	0,17	-0,16	0,09	-0,46	-0,08	0,08	3,17	-0,16	2,84
São Simão	-0,05	0,01	0,18	1,18	0,03	-0,11	-0,27	0,11	10,02	2,70	1,94
Uberaba	0,07	-0,08	-0,47	0,13	0,10	-0,08	0,20	0,31	3,65	-0,75	9,19
Unaí	0,56	0,04	-0,08	-1,90	-0,05	-0,41	-0,11	-0,06	-8,60	-2,12	-11,25
Votuporanga	0,64	0,15	0,77	2,61	0,03	0,15	0,02	-0,05	9,16	3,42	5,63

Figura 02 – Tendências positivas (células azuis) e negativas (células vermelhas) para cada índice verificado nas 32 estações no período 1986 a 2011. As células brancas indicam os índices que não apresentaram alterações e os valores destacados em negrito são os que apresentaram *p-value* menor que 0,05.



O aumento dos dias chuvosos e das chuvas mais intensas reflete diretamente no acréscimo dos totais de chuvas anuais, como mostra o índice PRCPTOT, onde a maioria das estações (23 com tendências positivas) apresentou aumento no total pluviométrico anual. Em alguns casos o aumento no índice PRCPTOT foi muito significativo, como se percebe nas estações de Campos do Jordão e Juiz de Fora que apresentaram tendências positivas de 19,14 e 19,79, respectivamente. Além do aumento nos volumes anuais de chuvas, o índice RX5day mostrou também que houveram mais ocorrências de chuvas mensais registradas em dias consecutivos, principalmente de 5 dias. É provável que este acréscimo de dias chuvosos tenha relação direta com o aumento das chuvas intensas.

Para se compreender melhor quais foram as regiões em que ocorreram as alterações nos valores de tendências descritos acima é necessário analisar os mapas apresentados na figura 03.

Deste modo, a primeira constatação que se pode fazer através desses mapas é a inexistência de um padrão espacial para cada índice pluviométrico, tendo em vista a heterogeneidade apresentada pelos valores de tendências ao longo da área de estudo, porém, novamente ficam claras as alterações no comportamento das chuvas. No mapa do índice CDD, por exemplo, é possível notar que toda a região sul da bacia apresentou tendências de decréscimo nos dias secos consecutivos, e esse padrão é exatamente o contrário do que ocorre na região norte da bacia, onde as tendências indicam aumento nos dias secos consecutivos. Para o índice CDW, que representa a ocorrência de dias chuvosos consecutivos com chuvas acima de 1 mm, o único padrão espacial notado encontra-se na região leste da bacia, justamente onde se encontram os relevos mais acidentados e mais elevados da área de estudo.

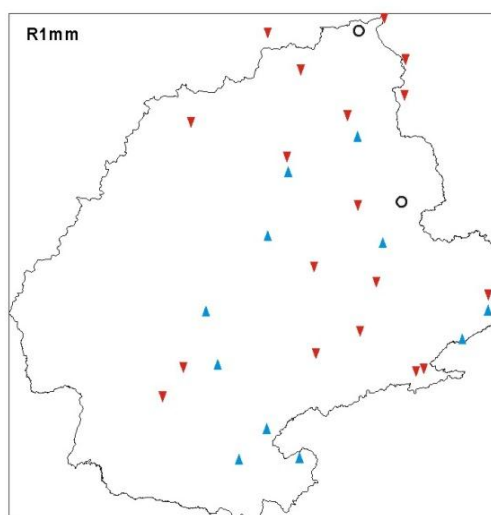
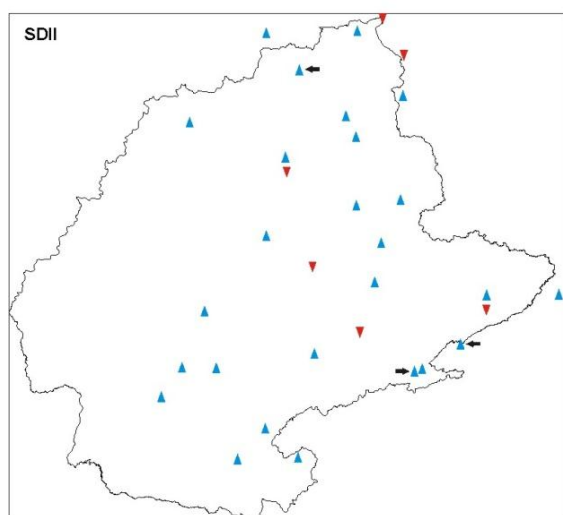
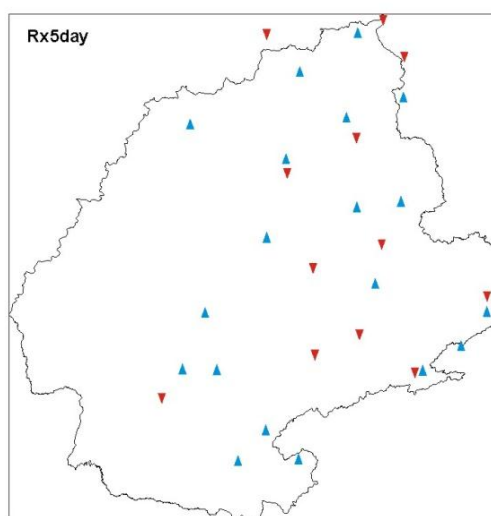
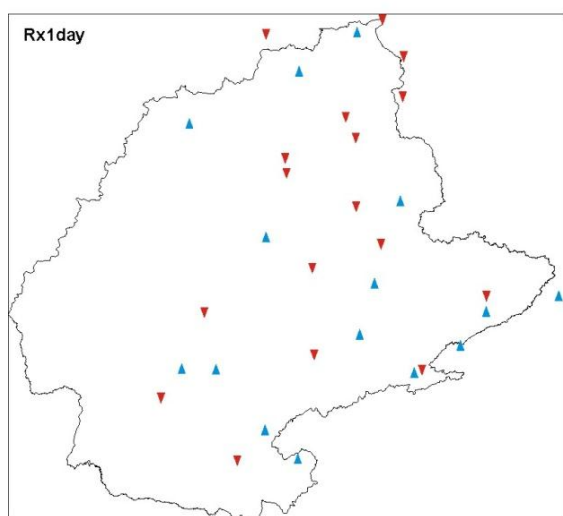
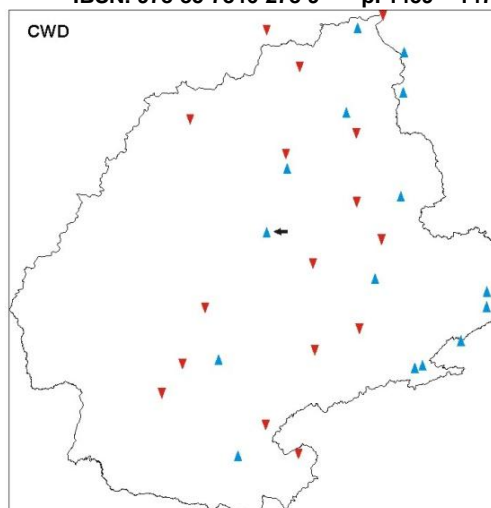
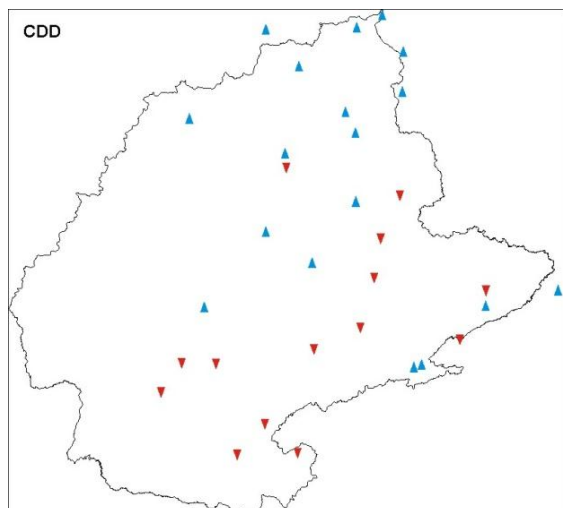
A comprovação das tendências de diminuição de ocorrências de dias secos consecutivos (CDD) apresentados para a região sul, bem como as tendências de aumento de dias chuvosos consecutivos (CDW) para a região leste pode ser feita através da interpretação do índice Rx5day, correspondente a tendência de ocorrência de 5 dias consecutivos de chuvas, pois mostra que as duas regiões tiveram diminuição nos números de dias secos e aumento de dias chuvosos. O índice SDII, que mostra a intensidade de ocorrência de dias chuvosos, também comprova esta afirmação, que, aliás, mostrou aumento nos valores de tendências não somente para as regiões sul e leste, mas para praticamente toda a área de estudo.



O índice calculado para demonstrar os valores das tendências para a precipitação total anual (PRCPTOT) indicou que houve aumento extremo nas chuvas para a região leste.

Comparando as tendências apontadas pelo índice PRCPTOT com as do R1mm, R10mm, R20mm, R95p e R99p, é possível afirmar que os acréscimos de chuvas na região leste foram provocados principalmente pelo aumento nas ocorrências de chuvas extremas, com destaque para aquelas acima de 95p. As chuvas acima de 99p também tiveram grande impacto, porém, com menor participação do que as de 95p. E apesar das chuvas acima de 1 mm, 10 mm e 20 mm terem tendências de aumento de ocorrências menos significativa, também colaboraram para que os totais anuais de chuvas fossem maiores nesta região.

Ao contrário do que ocorreu na região leste da bacia, o expressivo aumento dos totais pluviométricos anuais de chuvas (PRCPTOT) da maior parte da região sul não tem tanta relação com os expressivos aumentos das chuvas extremas (R95p e R99p), mas sim com as chuvas de menor intensidade, principalmente acima de 10 e 20 mm. Tal comportamento pode ser influência direta da maior homogeneidade temporal das chuvas caídas nesta parte da bacia ao longo do ano, atribuídas ao clima subtropical existente nesta região, diferenciando-se do clima tropical das demais regiões da bacia. As tendências de aumento expressivo dos totais de chuvas anuais no setor centro-norte da bacia também estão relacionadas à maior ocorrência de chuvas intensas, principalmente acima dos 95p, somadas também às maiores ocorrências de chuvas acima dos 10 mm. Já o extremo norte apresentou tendências de declínio pluviométrico provocado principalmente pela redução das ocorrências de chuvas de menor intensidade e, em alguns casos, nas chuvas acima de 95p.



Continua...



...continuação.

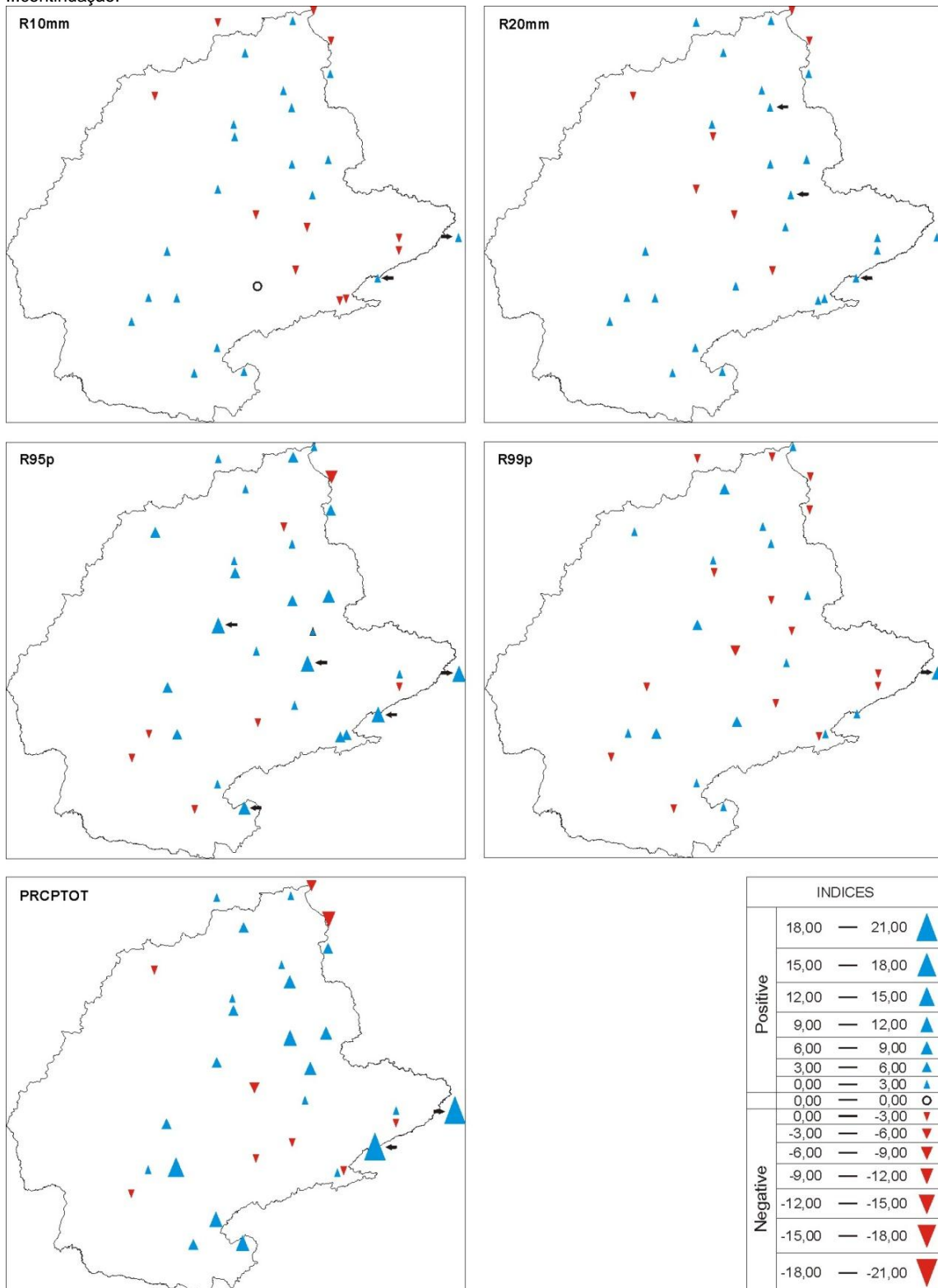


Figura 03 – Distribuição espacial das tendências positivas (triângulos azuis) e negativas (triângulos vermelhos) dos 11 índices climáticos calculados para as 32 estações pluviométricas no período de 1986 a 2011. O tamanho dos triângulos indicam as intensidades de variação das tendências, tanto positivas quanto negativas. Os círculos brancos representam os índices que não apresentaram alterações nas tendências. As setas negras indicam as estações com mais de 95% de significância ou as que os valores *p-value* foram menores que 0,05.



4. Conclusões

Os índices climáticos calculados para a bacia hidrográfica do rio Paraná mostraram que em algumas regiões as tendências de aumento nos volumes de chuvas foram significativas, e ainda que não haja padrão espacial na distribuição destas tendências é possível afirmar que em grande parte da bacia houve aumentos significativos nos totais anuais de chuvas e esse aumento está relacionado principalmente a chuvas mais intensas.

Foi visível a diferença entre as tendências de aumento e as de redução das chuvas, pois os valores de cada índice climático indicaram claramente tais ocorrências. Somente no extremo norte da bacia as tendências de diminuição das chuvas são mais acentuadas. Em outras áreas, como é o caso do centro da bacia, houve tendências fracas de redução das chuvas, porém, é difícil dizer se há um padrão espacial de distribuição, pois nem todos os índices são coerentes com esta afirmação.

Finalmente, apesar dos resultados terem apontado claramente para aumento das chuvas na maior parte da bacia, deve-se enfatizar que a pesquisa precisa ser melhorada, pois a falta de estações pluviométricas em algumas regiões pode influenciar na identificação de um padrão espacial das tendências apresentadas pelos índices climáticos analisados. Além disso, os dados utilizados apresentaram lacunas que podem influenciar as análises, e a melhoria destes dados seria essencial para que as próximas pesquisas comprovem ou não os resultados obtidos. Porém, não se pode negar que os resultados aqui apresentados são de grande relevância no entendimento das transformações ocorridas na distribuição e nos volumes de chuvas caídas ao longo da bacia hidrográfica do rio Paraná.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro (Brasil) e também à Università degli Studi di Torino (Itália) por permitirem, através de seus professores e pesquisadores, que a iniciativa de realização de um convênio entre ambas as universidades pudesse se tornar realidade. Esse convênio foi essencial para a realização de um estágio de pesquisa na cidade de Turim, na Itália, dando origem a este artigo científico. Agradecem também ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, um órgão do governo brasileiro, pela disponibilização dos dados pluviométricos utilizados nesta pesquisa. E principalmente à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, agência de fomento responsável pelo financiamento de toda a pesquisa através de bolsa de incentivo a estágios e pesquisas no exterior.



5. Referências Bibliográficas

AGUILAR, E. *et al.* Guidelines on climate metadata and homogenization, WCDMP 53, WMO-TD 1186. Org. Geneva, Switzerland. **World Meteorological**. 2003. 55 pg.

AGUILAR, E, T. C. *et al.* Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and Northern South America, 1961–2003. **Journal of Geophysical Research**, DOI:10.1029/2005JD006119, Vol. 110, December 2005, D23107.

ALEXANDER L. V. *et al.* Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, DOI: 10.1029/2005JD006290, Vol. 111, 2006, D05109.

ANA, Agência Nacional de Águas. 2013. **Região hidrográfica do Paraná**. <http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaL.asp>, acesso em janeiro de 2013.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2013. **Bacia do rio Paraná**. http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=110, acesso em janeiro de 2013.

BESSELAAR, E. *et al.* Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. **Royal Meteorological Society, International Journal of Climatology**, DOI: 10.1002/joc.3619, 2012.

EASTERLING, D. R. *et al.* Climate extremes: observations, modeling, and Impacts. **Atmospheric Science**, Vol. 289, September 2000, pg. 2068-2074.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2013. **Mapa da Rede de Estações**. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>, acesso em janeiro de 2013.

KALKSTEIN, L. S.; SMOYER, K. E. The impact of climate change on human health: some international implications. **Experientia**, Vol. 49, 1993, pg. 969-979.

KLEIN TANK, A. M. G. *et al.* Daily surface air temperature and precipitation dataset 1901-1999 for European Climate Assessment (ECA). **International Journal of Climatology**, Vol. 22, January 2002, pg. 1441-1453.

KLEIN TANK, A. M. G.; KÖNNEN, G. P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. **American Meteorological Society, Journal of Climate**, Vol. 16, November 2006, pg. 3665-3680.

KLEIN TANK, A. M. G. *et al.* Changes in daily temperature and precipitation extremes in Central and South Asia. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 111, August 2006, D16105, DOI: 10.1029/2005JD006316.

KUNKEL, K. E.; PIELKE JR., R. A.; CHANGNON, S. A. Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 80, N°. 6, June 1999.

MEEHL, G. A. *et al.* An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 81, Number 3, March 2000, pg. 413-416.



MOBERG, A. *et al.* Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000. **Journal of Geophysical Research**, D22106, DOI: 10.1029/2006JD007103, Vol. 111, November 2006.

MUELLER, B.; SENEVIRATNE, S. I. Hot days induced by precipitation deficits at the global scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Vol. 109, Number 31, July 2012, pg. 12398-12403.

SEN ROY, S.; ROUAULT, M. Spatial patterns of seasonal scale trends in extreme hourly precipitation in South Africa. **Elsevier, Applied Geography**, Vol. 39, 2013, pg. 151-157.

TERZAGO, S., S. FRATIANNI AND R. CREMONINI (2013). Winter precipitation in Western Italian Alps (1926–2010). **Meteorology and Atmospheric Physics**, Vol. 119, Issue 3-4, pg. 125-136, February 2013.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto Topodata. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia, GO. p. 1-8.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal, RN, São José dos Campos, SP: INPE. v. CD-ROM. p. 1-8.

VINCENT, L. A.; MEKIS, É. Changes in Daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century. **Atmosphere-Ocean**, Vol. 44, Number 2, 2006, pg. 177-193.

VINCENT, L. A. *et al.* Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, Vol. 18, December 2005, pg. 5011-5023.

WALTHER, GIAN-RETO *et al.* Ecological responses to recent climate change. **Nature**, Vol. 416, March 2002, pg. 389-395.

WANG, W. *et al.* Changes in daily temperature and precipitation extremes in the Yellow River basin, China. **Springer**, DOI 10.1007/s00477-012-0615-8, Vol. 27, 2013, pg. 401-421.

ZHANG, X.; F. YANG. RCLimindex. User guide. **Climate research branch environment Canada**. 2004. Downsview (Ontario, Canada), 22p.